

## **МЕТОД ИНТЕРФЕРЕНЦИИ НА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ (МЕТОД АТНАШЕВА) (Часть II)**

*В.Б.Атнашев, А.В.Атнашев, П.В.Атнашев, А.С.Боярченков*

*Негосударственное образовательное учреждение "Уральский технологический университет"  
620049, Екатеринбург, Мира, 23, оф. 213  
E-mail: info@utu.ru*

Поступила в редакцию 16 апреля 2001 г.

Сформулированы требования к источнику светового излучения, приведены результаты экспериментальных исследований и рассмотрен один из вариантов конструкции спектрофотометра, выполненного в виде фотоэлектронного элемента.

**Атнашев Виталий Борисович** – кандидат технических наук, ректор негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет", член-корреспондент Российской экологической академии.

Область научных интересов: спектральный анализ и экологический мониторинг.

Автор более 70 научных публикаций и изобретений.

**Атнашев Алексей Витальевич** – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет".

Область научных интересов: спектральный анализ и химические технологии.

Автор 2 научных публикаций.

**Атнашев Павел Витальевич** - исполняющий обязанности младшего научного сотрудника негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет".

Область научных интересов: спектральный анализ и информационные технологии.

Автор 2 научных публикаций.

**Боярченков Алексей Сергеевич** - исполняющий обязанности младшего научного сотрудника негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет".

Область научных интересов: спектральный анализ и оптоэлектроника.

Автор 1 научной публикации.

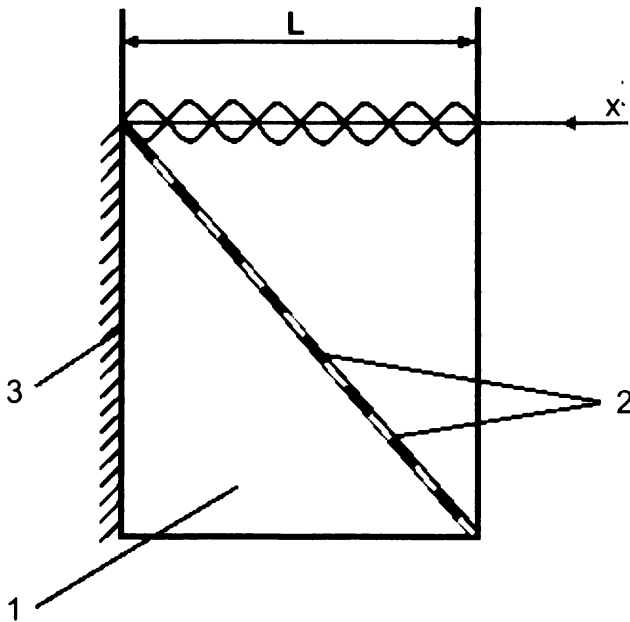
### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

В данной работе продолжено начатое в работах [1, 2] изучение возможностей метода интерференции на дифракционной решетке. Сформулированы требования к источнику светового излучения, приведены результаты экспериментальных исследований и рассмотрен один из вариантов конструкции спектрофотометра.

Так как любое электромагнитное излучение характеризуется поляризацией, фазовой скоростью, когерентностью и направленностью, рассмотрим, какие значения указанных параметров будут приемлемыми для предложенного метода.

### **Длина когерентности и время когерентности источника светового излучения [3, 4]**

Рассмотрим волновой цуг, вышедший из точечного источника и падающий нормально на отражающее зеркало с образованием пучностей электрического поля стоячей световой волны. Найдем время когерентности этого цуга для случая регистрации на фоточувствительной решетке. Для этого рассмотрим конструкцию предлагаемого спектрофотометра, состоящую из прозрачной пластинки, выполненной в виде оптического клина, на одну из поверхностей которой нанесена тонкая фоточувствительная решетка, а на другую - отражающее зеркальное покрытие (рис. 1).



**Рис.1.** К определению времени когерентности.

1 – оптический клин; 2 – фоточувствительная решетка;  
3 – отражающее зеркало; L – проекция фоточувствительной  
решетки 2 на ось x

Длина L, соответствующая проекции фоточувствительной решетки на ось x, равна

$$L = \frac{\lambda \cdot N}{2}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина световой волны; N – число фоточувствительных штрихов решетки.

При  $\lambda = 0.63 \cdot 10^{-6}$  м;  $N = 1000$  получим значение длины когерентности  $L = 0.3 \cdot 10^{-3}$  м.

Найдем время когерентности

$$\tau = \frac{2L}{c}, \quad (2)$$

где c – скорость света в вакууме.

Подставив численные значения, получим

$$\tau = \frac{2 \cdot 0.3 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ с}. \quad (3)$$

Сопоставим рассчитанные значения времени когерентности с литературными данными. В работе [4] указывается, что время когерентности для обычных источников равно  $10^{-9} - 10^{-10}$  с. При использовании некогерентного источника красного света обычно наблюдаются интерференционные полосы с разностью хода до  $10\lambda$  [5], т.е. длина когерентности составляет около 6 мкм, а время когерентности –  $2 \cdot 10^{-14}$  с.

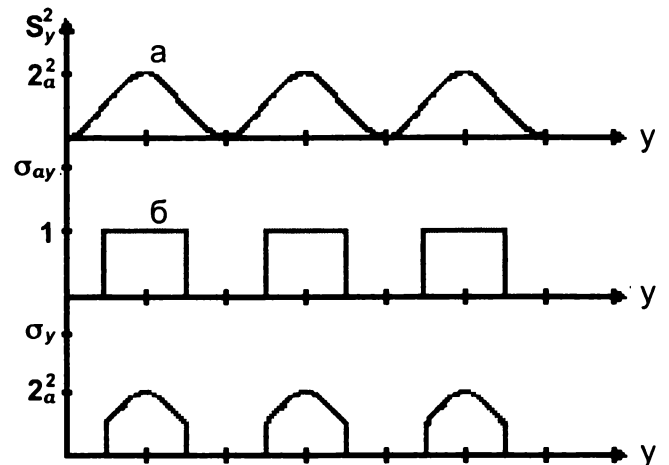
#### **Спектрофотометр как синхронный детектор [6]**

Рассмотрим выделение электрического сигнала на спектрофотометре как процесс синхронного детектирования [6]. Как было показано в рабо-

те [2], распределение энергии электрического вектора стоячей световой волны в фокальной плоскости спектрофотометра по оси y имеет следующий вид (рис. 2.а):

$$s_{2y}^2 = 4a^2 \sin^2 \left( 2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right), \quad (4)$$

где a – амплитуда световой волны;  $\varphi$  – угол между плоскостью металлического зеркала и фокальной плоскостью спектрофотометра.



**Рис.2.** Выделение электрического сигнала на спектрофотометре как процесс синхронного детектирования: а – распределение энергии электрического вектора стоячей световой волны в фокальной плоскости спектрофотометра; б и в – изменение электропроводности фоточувствительных штрихов решетки в фокальной плоскости спектрофотометра: б – без воздействия стоячей световой волны; в – при воздействии стоячей световой волны

Или, после преобразования,

$$s_{2y}^2 = 2a^2 \left[ 1 - \cos \left( 4\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right) \right]. \quad (5)$$

Изменение электропроводности  $\sigma_{ay}$  фоточувствительных штрихов решетки в той же фокальной плоскости по оси y представим в виде ряда Фурье [7] (рис. 2.б):

$$\begin{aligned} \sigma_{ay} &= 1 - \frac{4}{\pi} \left( \cos \frac{2\pi y}{d} - \frac{1}{3} \cos \frac{6\pi y}{d} + \frac{1}{5} \cos \frac{10\pi y}{d} \dots \right) = \\ &= 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m-1}}{2m-1} \cos \left( (2m-1) \frac{2\pi y}{d} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

где d – период фоточувствительных штрихов решетки.

Полагая, что электропроводность  $\sigma_y$  фоточувствительных штрихов решетки линейно зависит от потока энергии стоячей световой волны, запишем (рис. 2.в):

$$\sigma_y \sim \sigma_{oy} \cdot s_{2y}^2 = 2a^2 \left[ 1 - \cos \left( 4\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right) \right] \cdot \left[ 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m-1}}{2m-1} \cos \left( (2m-1) \frac{2\pi y}{d} \right) \right]. \quad (7)$$

Результат успешного детектирования может быть получен при условии синфазности и синхронности рассматриваемых колебаний. В работе [6] показано, что "выгоднее всего вести детектирование при  $\delta = 0$ ". Такое значение фазы  $\delta$  соответствует нашему случаю.

Из (7) найдем условие синхронности

$$\frac{4\pi \sin \varphi}{\lambda} = \frac{2\pi}{d}, \quad (8)$$

преобразуя (8), получаем

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{2d}. \quad (9)$$

### Пространственная когерентность [3, 4]

Рассмотрим условия выделения интерференционных полос стоячей световой волны на фоточувствительных штрихах решетки при падении светового луча под некоторым углом к плоскости фоточувствительной решетки (рис. 3).

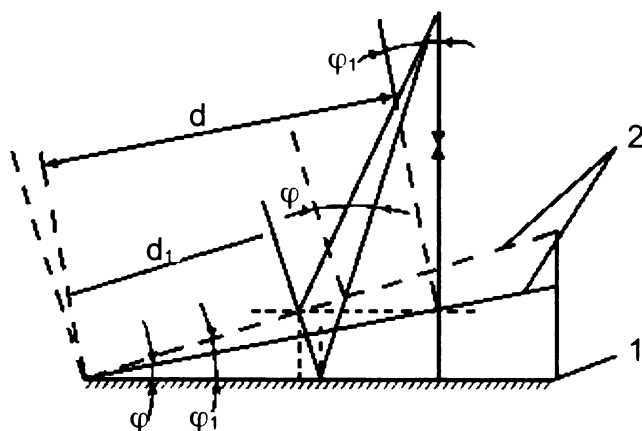


Рис.3. Ход лучей в спектрофотометре при падении светового луча на фоточувствительную решетку под углом  $\varphi$  и  $\varphi_1$ : 1 – отражающее зеркало; 2 – плоскость фоточувствительной решетки;  $d$  и  $d_1$  – период фоточувствительной решетки

Для простоты рассмотрения примем этот угол очень малым, а отраженный от зеркала луч – падающим нормально на фоточувствительную решетку. Тогда условие выделения интерференционных полос стоячей световой волны запишется следующим образом:

$$\frac{\lambda}{2d_1} = \operatorname{tg} \varphi_1 \approx \sin \varphi_1, \quad (10)$$

где  $d_1$  – период, который необходимо задать фото-

чувствительной решетке, расположенной в фокальной плоскости спектрофотометра под углом  $\varphi_1$  к плоскости металлического зеркала. При этом не выполняется условие синхронности (9). Следовательно, пространственно-когерентное излучение любой степени когерентности, падающее не по нормали на отражающее зеркало, не будет выделено на фоточувствительных штрихах. Здесь уместно провести аналогию с открытым резонатором типа отражающее зеркало – эшелетт [8, 9], для которого экспериментально было обнаружено всего лишь одно основное колебание с высоким параметром добротности (рис.4). Поэтому для данного спектрофотометра рассмотрение степени пространственной когерентности и ее вычисление, например по характеристике видности [3, 4], не является существенным моментом.

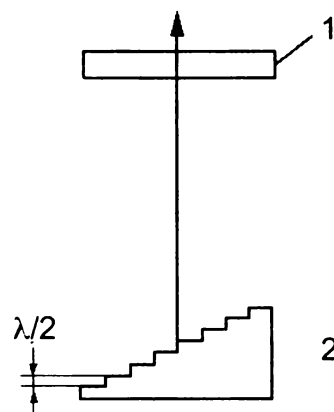
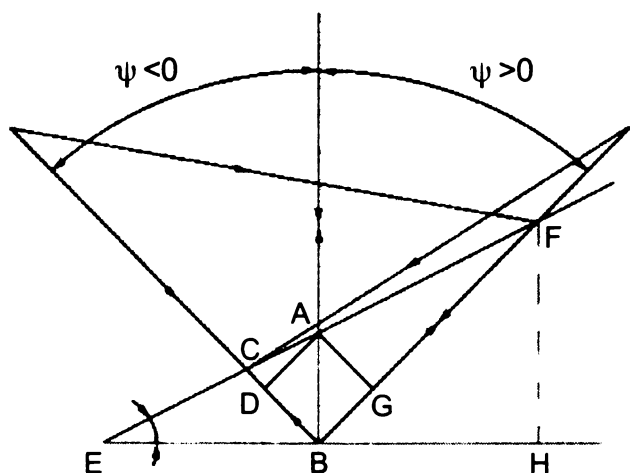


Рис.4. Открытый резонатор типа отражающее зеркало – эшелетт: 1 – отражающее зеркало; 2 – эшелетт (заимствовано из [9])

Из всех колебаний стоячей световой волны (рис.3) системой "отражающее зеркало – фоточувствительная решетка" будут выделены колебания соответствующие условию (9), происходящие при нормальном падении световой волны на отражающее зеркало. То есть будут выделены колебания нормально падающей на зеркало световой волны, образующей стоячую световую волну с колебаниями, укладывающимися на длине когерентности  $L$ . Пространственно-когерентное излучение данной длины волны, а также излучение других длин волн, которое не укладывается на длине когерентности  $L$ , будут претерпевать спектральное разрежение.

### Направленность излучения

Ранее мы рассматривали образование стоячей световой волны при нормальном падении светового пучка на отражающее зеркало. Рассмотрим случай для угла падения  $\psi \neq 0$  (рис.5).



**Рис.5.** Зависимость периода фоточувствительной решетки от углов  $\beta$  и  $\gamma$

Для удобства расчетов примем расстояния  $AB = \lambda/4$ ;  $AE = d/2$ ;  $BC = \lambda/4$ ;  $BF = \lambda \cdot 3/4$ . Найдем связь между периодом  $d$ , фоточувствительной решетки и длиной волны для фиксированного положительного значения угла  $\psi$ . Из рис.5 следует, что  $\angle EFH = 90^\circ - \varphi$ , где  $\varphi$  - угол между плоскостью металлического зеркала  $EH$  и фокальной плоскостью спектрофотометра  $EF$ .

Далее  $\angle BFH = \psi$  и  $\angle BFH = \angle ABF$ , как накрест-лежащие. Откуда  $\angle EFB = \angle EFH - \angle BFH = 90^\circ - \varphi - \psi$ .

Из точки  $A$  опустим перпендикуляр  $AG$  на прямую  $BF$  и найдем значение  $AG$ .

$$\frac{AG}{AB} = \sin \psi'; \quad AG = AB \cdot \sin \psi' = \frac{\lambda}{4} \sin \psi'. \quad (11)$$

Далее найдем

$$\frac{AG}{AF} = \sin[90^\circ - (\varphi + \psi')] = \cos(\varphi + \psi'). \quad (12)$$

$$AF = \frac{\lambda \cdot \sin \psi'}{4 \cos(\varphi + \psi')}. \quad (13)$$

Запишем связь между периодами  $AE=EF \cdot AF$ , полагая, что  $EF = \frac{d_1}{2}$ :

$$\frac{d}{2} = \frac{d_1}{2} - \frac{\lambda \cdot \sin \psi'}{4 \cos(\varphi + \psi')}. \quad (14)$$

Подставив (14) в выражение условия синхронности (9), получим

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{2d} = \frac{\lambda}{2 \left[ d_1 - \frac{\lambda \cdot \sin\psi'}{4\cos(\varphi + \psi')} \right]} \quad (15)$$

Далее найдем связь между периодом  $d_2$  фоточувствительной решетки и длиной волны для фиксированного отрицательного значения угла  $\psi$

Рассмотрим ход лучей для этого случая (рис.5). Опустим из точки  $A$  перпендикуляр на прямую  $BC$  и найдем значение отрезка  $AD$ .

$$\frac{AD}{AB} = \sin \psi'; \quad AD = AB \cdot \sin \psi' = \frac{\lambda}{4} \sin \psi. \quad (16)$$

Найдем  $\angle CAD$ .  $\angle EAB = 90^\circ - \varphi$ ;  $\angle DAB = 90^\circ + \psi$ ,  
т.к. углу  $\psi$  задано отрицательное значение.

Откуда  $\angle CAD = \angle EAB - \angle DAB = -(\varphi + \psi)$ .

Далее найдем отрезок  $AC$ :

$$\frac{AD}{AC} = \cos[-(\varphi + \psi)] = -\cos(\varphi + \psi), \quad (17)$$

$$AC = -\frac{\lambda \cdot \sin \psi}{4 \cos(\varphi + \psi)} . \quad (18)$$

Запишем связь между периодами  $EA = EC + AC$ , полагая, что  $EC = \frac{d_2}{2}$  :

$$\frac{d}{2} = \frac{d_2}{2} - \frac{\lambda \cdot \sin \psi}{4 \cos(\varphi + \psi)}. \quad (19)$$

Подставив (19) в выражение условия синхронности (9), получим

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{2d} = \frac{\lambda}{2 \left[ d_2 - \frac{\lambda \cdot \sin\psi}{4\cos(\varphi + \psi)} \right]}. \quad (20)$$

Таким образом получили выражение (20), аналогичное выражению (15). Из выражения (15) следует, что при падении светового пучка на отражающее зеркало под углом  $\psi > 0$  для данной длины волны уменьшается период интерференционных полос. А из выражения (20) следует, что при падении светового пучка на отражающее зеркало под углом  $\psi < 0$  для данной длины волны увеличивается период интерференционных полос. В целом зависимости (15) и (20) имеют общий характер. При перемещении источника светового излучения слева направо (рис. 5) имеет место уменьшение периода интерференционных полос, и наоборот, при перемещении источника светового излучения справа налево имеет место увеличение периода интерференционных полос. Из рассмотренных зависимостей также следует, что предложенный метод можно применить и для измерения углового перемещения источника светового излучения, а также для определения направления этого перемещения.

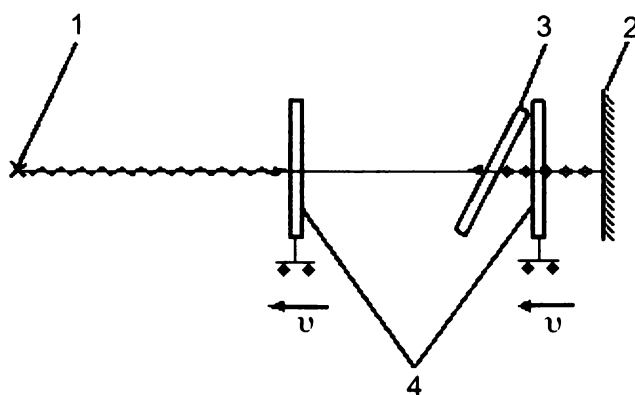
## Поляризация

Рассмотрим прохождение короткого волнового цуга, излучение которого всегда частично поляризовано, через оптическую схему предложенного спектрофотометра. При нормальном падении электромагнитной волны на отражающую

металлическую поверхность направление колебаний электрического вектора остается неизменным, и имеет место интерференция в виде стоячей световой волны. В случае падения электромагнитной волны под углом, отличным от нормального, изменение плоскости поляризации зависит от угла падения, и интенсивность интерференции связана с взаимной ориентацией плоскостей поляризации падающего и отраженного пучков света, что убедительно показано в работе [10]. Так как время прохождения каждого волнового цуга мало, на фоточувствительную решетку в течение времени регистрации воздействует большое количество коротких волновых цугов, между которыми нет фазовой корреляции, а разность фаз между падающей и отраженной волнами непрерывно меняется, то в результате таких вариаций состояний поляризации явление интерференции также наблюдается.

### Фазовая скорость

Рассмотрим, как может изменяться фазовая скорость световой волны при ее прохождении через предлагаемый спектрофотометр (рис.6).



**Рис.6.** Экспериментальная установка для наблюдения влияния изменения фазовой скорости световой волны на вид получаемой интерференционной картины:

- 1 – источник светового излучения; 2 – отражающее зеркало;
- 3 – прозрачная плоскопараллельная пластинка с тонким фоточувствительным слоем на ее поверхности;
- 4 – прозрачная плоскопараллельная пластинка, выполненная с возможностью перемещения вдоль оптической оси спектрофотометра

Предположим, что источник светового излучения излучает волновой цуг такой длины, чтобы расстояние между источником излучения и фоточувствительным слоем он проходил в виде бегущей волны, а расстояние между фоточувствительным слоем и отражающим зеркалом – в виде стоячей волны. Задать изменение фазовой скорости можно путем перемещения источника светового излучения с постоянной скоростью относительно фоточувствительного слоя и отражаю-

щего зеркала. Аналогичного изменения фазовой скорости можно достичь, применив эффект “увлечения средой”, например, поместив на пути светового пучка плоскопараллельную прозрачную пластинку, перемещаемую вдоль оптической оси со скоростью  $x$ . При прохождении волнового цуга через плоскопараллельную пластинку, расположенную между источником светового излучения и фоточувствительным слоем, его фазовая скорость равна [11]

$$W = \frac{c}{n} - v' \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right), \quad (21)$$

где  $v'$  – скорость перемещения плоскопараллельной пластинки;  $n$  – показатель преломления материала, из которого выполнена прозрачная плоскопараллельная пластинка.

Такое малое изменение фазовой скорости света ( $<10^{-6} \%$ ) зарегистрировать практически не удается.

Рассмотрим второй вариант. Плоскопараллельная пластинка, расположенная между фоточувствительным слоем и отражающим зеркалом, перемещается вдоль оптической оси спектрофотометра с той же скоростью  $x$ . Волновой цуг проходит в виде стоячей световой волны пространство между фоточувствительным слоем и отражающим зеркалом со скоростями

$$W_1 = \frac{c}{n} - v' \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) \quad (22)$$

и

$$W_2 = \frac{c}{n} + v' \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right). \quad (23)$$

Возникает известное явление световых биеений или интерференционной модуляции, о котором мы упоминали в работе [1], описанное в работе [4].

Такое же явление имеет место и для цуга большой длины. Интерференционная модуляция будет регистрироваться на фоточувствительном слое лишь в случае размещения этого слоя между источником светового излучения и плоскопараллельной пластинкой.

Из рассмотрения параметров синхронного детектора, приведенных в работе [6], также следует, что при измерении радиочастот он обладает определенной избирательностью, а его резонансная характеристика зависит от величины  $RC$ -цепи. В оптическом диапазоне на предложенном спектрофотометре, являющемся аналогом синхронного детектора, избирательно выделяют-

ся длины волн. Справедливость же общих положений для анализа волновых процессов остается неизменной. Например, разрешающая способность анализатора увеличивается с увеличением времени анализа. Для рассматриваемого спектрофотометра при увеличении общего числа фоточувствительных штрихов  $N$  увеличивается ширина  $S$  решетки и, так как решетка расположена под углом  $\alpha$  к волновому фронту, увеличивается время пробега световых волн на  $\Delta t = \tau/2$ , то есть время анализа. Разрешающая способность, следовательно, увеличивается как функция  $\mathcal{H} = f(t)$ . Но также можно записать, что разрешающая способность увеличивается как функция  $\mathcal{H} = f(y)$  с увеличением геометрических размеров решетки, так как

$$\mathcal{H} = 2N = \frac{2S}{d}. \quad (24)$$

Наиболее четко эту взаимосвязь представлений показал А.А. Харкевич, отмечая, что "в оптике анализ посредством резонатора нельзя осуществить только потому, что мы еще не в состоянии построить электрический резонатор на частоты порядка  $10^{14}$  Гц.... в оптике применяются исключительно волновые анализаторы, т.е. интерференционные спектроскопы". Далее, при рассмотрении электрических резонаторов с распределенными параметрами А.А. Харкевич продолжает: "...интересно отметить, что резонанс в такой системе – например, в отрезке линии или в стержне – есть волновое явление, и здесь мы вновь возвращаемся к принципам, используемым в оптике. Ведь волновой резонанс в отрезке линии представляет собой не что иное, как результат интерференции: отрезок линии как спектральный прибор решительно ничем не отличается по существу происходящих в нем явлений от интерференционного спектроскопа" [6].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### *Источники светового излучения используемые в экспериментах*

В описываемых экспериментах использовали следующие источники светового излучения: гелий-неоновый лазер с длиной волны 0,63 мкм; суперяркие светодиоды типа L53-SGC, L53-SRC-E, L53-SRC-F, L53-SYC фирмы Kinbright, излучающие красный, желтый и зеленый свет; источник белого света, состоящий из лампы накаливания 6 В (0,75 А), рефлектора и 3 элементов питания напряжением по 1,5 В. Для получения более направленного излучения у светодиодов отрезали сферическую, рассеивающую часть корпуса, а

полученную плоскую площадку подвергали шлифовке и полировке.

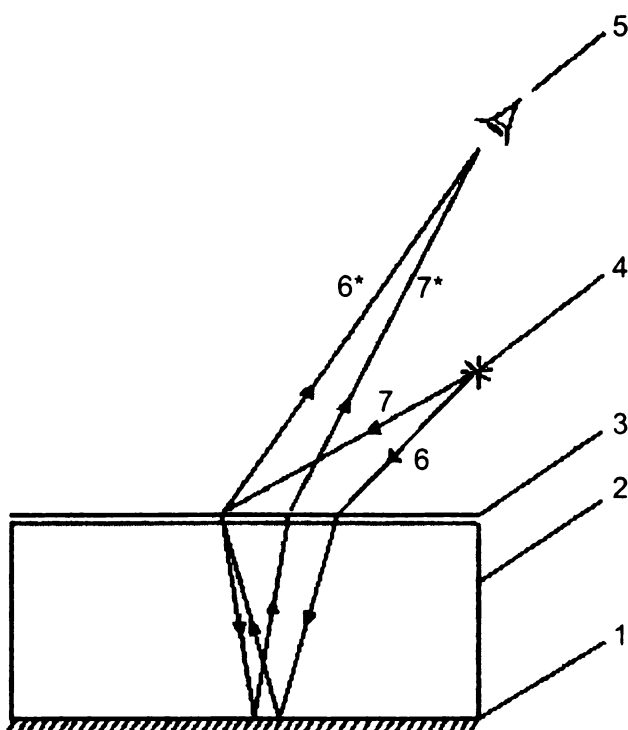
### *Влияние изменения фазовой скорости световой волны на вид получаемой интерференционной картины*

Для наблюдения влияния изменения фазовой скорости световой волны на вид получаемой интерференционной картины использовалась экспериментальная установка, описанная в работе [1]. Фоточувствительный слой в виде тонкого слоя люминола был нанесен на поверхность прозрачной плоскопараллельной пластинки. В качестве плоскопараллельной пластинки, перемещаемой вдоль оптической оси спектрофотометра, применили стеклянную пластинку размером 30х40х5 мм с погрешностью непараллельности менее 2". При перемещении этой пластинки между лазером и пластинкой с тонким слоем люминола (рис.6) изменения вида интерференционных полос не наблюдалось. Картина резко менялась при перемещении плоскопараллельной пластинки между пластинкой с тонким слоем люминола и отражающим зеркалом. В этом случае наблюдались световые биения, частота которых зависела от скорости перемещения плоскопараллельной пластинки.

### *Наблюдение интерференционных полос в толстой стеклянной пластинке, одна из поверхностей которой соприкасается с зеркалом, а на другую нанесен слой люминола, при освещении некогерентным источником света*

При изучении характеристик предлагаемого спектрофотометра была обнаружена интерференция, имеющая место за счет изменения направления света при рассеянии на частицах люминола, нанесенного на поверхность толстой стеклянной пластинки. На рис. 7 изображена установка, предназначенная для наблюдения этого вида интерференции. На зеркале с отражающим покрытием, нанесенным на его верхнюю поверхность, размещена хорошо притертая стеклянная пластинка толщиной 1,35 мм. На верхнюю поверхность стеклянной пластинки нанесен слой люминола. При освещении стеклянной пластинки светодиодами красного, желтого и зеленого света наблюдаются интерференционные полосы, а при освещении белым светом наблюдаются цветные полосы слабой интенсивности.

Этот вид интерференции убедительно описан в работе [5], в которой показано, что "вследствие малого различия двух больших разностей хода" интерференционные полосы возникают в толстой зеркальной пластинке.



**Рис.7.** Наблюдение интерференционных полос возникающих в толстых стеклянных пластинках за счет "малого различия двух больших разностей хода [5]":

1 – отражающее зеркало; 2 – толстая стеклянная пластинка; 3 – слой люминола; 4 – источник некогерентного излучения; 5 – наблюдатель; 6, 6\*, 7, 7\* – ход лучей

### **Спектрофотометр, выполненный в виде фотоэлектронного элемента**

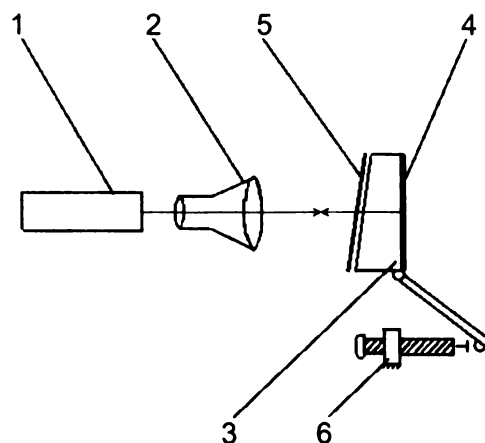
Полученные теоретические расчеты и экспериментальные результаты позволили разработать конструкцию спектрофотометра, выполненного в виде моноблока и состоящего из клиновидной пластинки с углом  $\varphi$ , на одну из поверхностей которого нанесено отражающее покрытие, а на другую – фоточувствительный слой. Клиновидная пластинка изготовлена из стекла размерами 15х15х1,2 мм. Угол  $\varphi$  составляет  $1^{\circ}05' \pm 2'$ . При проведении визуальных наблюдений в качестве фоточувствительного слоя использовали так же, как в работах [1,2], тонкий слой люминола, а при фотоэлектрических измерениях – тонкий фоточувствительный слой CdS, химически осажденный на поверхность стекла. Фоточувствительную решетку изготавливали с использованием технологии, описанной в работе [1], при времени осаждения 30 мин, включая время нагрева рабочего раствора до температуры 70°C. Для предотвращения оптических искажений из-за появления упругих деформаций в стеклянной клиновидной пластинке отжиг фоточувствительной решетки не производили. С целью уменьшения электрического сопротивления решетки также, как в работе [14.] в рабочий раствор в процессе

осаждения вводили 10 мл раствора хлористой меди с концентрацией  $C = 5 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Используя специально разработанный прием, рисунок фоточувствительной решетки наносили на поверхность фоточувствительного слоя таким образом, чтобы фоточувствительные штрихи решетки находились в местах воздействия на слой пучностей электрического вектора стоячей световой волны.

Параметры фоточувствительной решетки используемой в экспериментах: высота – 6 мм, ширина – 10 мм, период – 0,7 мм, фотосопротивление в темноте  $R_{\text{темн}} = 100$  ГОм, фотосопротивление при освещении решетки на расстоянии 10 см лампы накаливания мощностью 15 Вт  $R_{\text{дн}} = 5$  ГОм, отношение  $R_{\text{темн}}/R_{\text{дн}} = 20$ .

### **Влияние угла падения светового потока на период интерференционных полос**

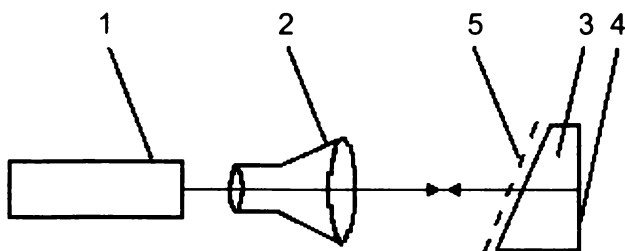
Для изучения влияния угла падения светового потока на период интерференционных полос использовали экспериментальную установку, изображенную на рис.8, в которой клиновидная пластинка с отражающим покрытием закреплена в оправке, установленной на синусном механизме с возможностью углового перемещения относительно оптической оси установки. На прозрачную поверхность клиновидной пластинки с отражающим покрытием нанесен слой люминола. При освещении этого слоя источником когерентного излучения наблюдались интерференционные полосы. При угловом перемещении клиновидной пластинки перемещения интерференционных полос в плоскости слоя люминола и изменения периода интерференционных полос визуально не наблюдалось, что связано с большой разницей в периоде интерференционных полос по сравнению с длиной волны светового излучения.



**Рис.8.** Экспериментальная установка:  
1 – лазер; 2 – телескоп; 3 – клиновидная стеклянная пластинка; 4 – отражающее покрытие; 5 – слой люминола; 6 – синусный механизм

### Один из вариантов принципиальной схемы спектрофотометра

На рис.9 изображена принципиальная схема спектрофотометра, содержащая лазер, телескоп и собственно спектрофотометр, выполненный в виде фотоэлектронного элемента.



**Рис.9.** Принципиальная схема спектрофотометра:  
1 – лазер; 2 – телескоп; 3 – клиновидная стеклянная пластинка; 4 – отражающее покрытие;  
5 – фотоэлектронная решетка

В отличие от уже рассмотренных схем [1, 2], в данной схеме не применяется какая-либо моду-

ляция и совмещение фотоэлектронных штрихов решетки с пучностями электрического вектора стоячей световой волны осуществляется за счет точного нанесения рисунка фотоэлектронной решетки на фотоэлектронный слой и изготовления спектрофотометра в виде моноблока. Это обеспечивает стабильное наложение интерференционных полос на фотоэлектронные штрихи, а измерение постоянной составляющей электрического сопротивления решетки позволяет получить электрический сигнал с отношением сигнал/шум, пропорциональным отношению  $R_{\text{тепл}}/R_{\text{эл}}$ .

Авторы выражают благодарность редактору журнала "Аналитика и контроль", доктору химических наук, профессору В.Н. Музгину; доктору химических наук, профессору А.А. Пупышеву и доктору технических наук Ю.Б. Атнашеву за ряд ценных советов и критических замечаний.

Авторы также признательны К.Д. Ермолину за помощь в оформлении результатов исследований.

### ЛИТЕРАТУРА

- Атнашев А.Б., Атнашев В.Б., Атнашев П.В. Метод интерференции на дифракционной решетке. Метод Атнашева. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. 24 с.
- Атнашев В.Б., Атнашев А.В., Атнашев П.В., Боярченко А.С. Метод интерференции на дифракционной решетке (метод Атнашева). Часть 1 // Аналитика и контроль. Т.5, № 1. 2001. С.35-42.
- Франсон М., Сланский С. Когерентность в оптике. М.: Наука, 1967. 79 с.
- Калитеевский Н.И. Волновая оптика. М.: Высшая школа, 1995. 462 с.
- Поль Р. Оптика и атомная физика. М.: Наука, 1966. 552 с.
- Харкевич А.А. Избранные труды. Т.2. Линейные и нелинейные системы. М.: Наука, 1973. 565 с.
- Пейн Г. Физика колебаний и волн. М.: Мир, 1979. 389 с.
- Косарев Е.Л. Разрежение спектра открытого резонатора с помощью эшелеттной решетки // Письма в ЖЭТФ. 1966. Т. 3, № 7. С. 295-298.
- Вайнштейн Л.А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М.: Советское радио, 1966. 474 с.
- Ives H., Fry T. Standing light waves; Repetition of an experiment by Wiener, using a photoelectric probe surface // Journal of the Optical Society of America. 1933. V. 23, №3. P. 73 –83.
- Лорентц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1953. 471 с.
- Свечников С.В., Смовж А.К., Каганович Э.Б. Фотопотенциометры и функциональные фоторезисторы. М.: Советское радио, 1978. 183 с.

\* \* \* \* \*